

Aus der Poliklinik der Zahnerhaltungskunde der Klinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der Johannes -
Gutenberg-Universität Mainz
(Direktor : Professor Dr.Dr. W. Ketterl)

Untersuchungen über den Einfluß verschiedener
Aufbewahrungsmodi auf die Härte von Schmelzschliffen

Inauguraldissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors
der Zahnheilkunde der Hohen Medizinischen
Fakultät der Johannes-Gutenberg-Universität
Mainz

vorgelegt von
Klaus-Jürgen Kurtenacker

Mainz 1972

Dekan :

Professor Dr. K.H. Bäßler

Referent :

Professor Dr.Dr. W. Ketterl

Tag der mündlichen Prüfung : 7.12.1972



Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Literaturübersicht
3. Meßverfahren
4. Versuchsanordnung
 - a) Material und Verarbeitung
 - b) Lokalisation der Meßpunkte
und Versuchsdurchführung
5. Ergebnisse und Tabellen
6. Diskussion
7. Zusammenfassung
8. Literaturverzeichnis

Digitized by the Internet Archive
in 2026

1. Einleitung

In der vorliegenden Arbeit sollen in vitro Härtemessungen am Zahnschmelz unter Berücksichtigung verschiedener Aufbewahrungsmodi der Zähne durchgeführt werden. Der Schmelz (substantia adamantina) besteht aus Schmelzprismen und der interprismatischen Substanz. Die Schmelzprismen sind etwa 3 - 6 μ dick und verlaufen, sich schraubenförmig windend, von der Schmelz-Dentin-Grenze zur Oberfläche des Zahnes. Durch eine ungleichmäßige Verkalkung entstehen die RETZIUS'schen Streifen, in Gegensatz zu den HUNTER-SCHREGER'schen Streifen, die durch unterschiedliche Lichtbrechung der verschieden geneigten Prismen entstehen. Da der Schmelz zu 97% aus anorganischer Substanz besteht, wird er bei der Entkalkung aufgelöst. Die geringe Menge organischer Substanz ist nicht imstande, die Form des Schmelzes zu erhalten.

Mit Hilfe der nachfolgenden Untersuchungen und Messungen soll die Frage untersucht werden, ob sich die Schmelzhärte unter verschiedenen äußeren Einflüssen ändert und in welcher Form Änderungen auftreten. Dazu sollen als erstes in der Literatur vertretene Meinungen aufgezeigt werden.

2. Literaturübersicht

Härtemessungen am Schmelz und Dentin des Menschen, sowohl am gesunden als auch am erkrankten Zahn, wurden schon mit den verschiedensten Methoden durchgeführt. Fast alle Meßergebnisse zeigten Unterschiede in der Härte des Zahnschmelzes.

Die meisten der hier angeführten Autoren führten ihre Versuche der Härtebestimmung mit dem Kleinhärteprüfer "Durimet", der nach der Diamantpyramideneindruckmethode von Vickers arbeitet, durch (die Bestimmung der Härte der gesunden Zahnhartsubstanz in dieser Arbeit erfolgt nach Vickers). Ein kleinerer Teil der Autoren, speziell im amerikanischen Sprachgebrauch bestimmt jedoch die Schmelz- und Dentinhärte nach der Knoop'schen Härtezahl (KHN - Knoop-Hardness-Number).

HERRMANN (8) fand bei seinen Messungen an topographisch verschiedenen Meßpunkten immer wiederkehrende und gleichbleibende Härteunterschiede. Im Tierversuch fand er, daß durch toxische Gaben von Fluor die Härte von Schmelz und Dentin abnahm.

Im Gegensatz dazu : CRAIG und PEYTON (6), die eine Schmelzhärte von durchschnittlich 343 Knoop- (genau 326 - 376 KHN) Härtezahlen angeben. Sie lehnen eine Härteänderung von der Schmelzoberfläche zur Schmelz-Dentin-Grenze und zum cervicalen Rand hin ab.

CALDWELL, MUNTZ, GILMORE und PIGMAN (5) gaben eine durchschnittliche Schmelzhärte von 380 KHN an. Sie bezweifeln die sog. Schmelzreife, denn sie konnten nachweisen, daß die Oberfläche posteriorer Zähne keine Härteunterschiede zeigten, die vom Alter des Patienten abhängig war. Gleichzeitig wiesen sie nach, daß die Milchzahnoberfläche genau so hart ist, wie die der bleibenden Zähne.

Ebenso MASI und BENINI (10), die keine Beziehung zwischen Härte und Alter, sowohl bei bleibenden als auch bei Milchzähnen nachweisen konnten. Bei der Untersuchung der Zahnhärte von 6-65jährigen mit der Härtemessung nach VICKERS, fanden sie heraus, daß an der Schmelz-Dentin-Grenze die Härte des Schmelzes ebenso abnimmt, wie die des Dentins.

Im Gegensatz zu den vorher genannten Autoren beschrieb PROELL-SCHUBERT 1928, daß mit höherem Alter die Zähne an Härte zunahmen.

Die gleiche Ansicht vertritt SCHUBERT (17) in ihrer Dissertation über Mikro-Härtemessungen am menschlichen Zahnschmelz :

"Mit steigendem Lebensalter nimmt die Härte des Zahnschmelzes zu". Sie ist ebenfalls der Überzeugung, daß die Härte an der Schmelz-Dentin-Grenze geringer ist, als in der oberflächlichen Schicht und sie beschreibt, daß der Schmelz der Weisheitszähne und retinierter Eckzähne eine sehr geringe Härte aufweist.

KARLSTRÖM (17) schreibt 1931 :

"Der Schmelz noch nicht durchgebrochener voll ausgebildeter Zähne ist an der Oberfläche gleich hart wie der der bleibenden Zähne. In tieferen Schichten ist der Schmelz aber wesentlich weicher".

SCHIRBORT (15) stützt sich auf die Ergebnisse KARLSTRÖMS von 1926, daß die Schmelzhärte von der Außenschicht zur Schmelz-Dentin-Grenze hin abnimmt, glaubt aber an die hauptsächlichsten Härteänderungen allerdings nur in den inneren Schmelzschichten.

BÜHLER (4) schreibt über Mikro-Härtemessungen im Schmelz

und Dentin retinierter menschlicher Zähne und kommt zu dem Schluß, daß die Härte des Schmelzes kontinuierlich von der Oberfläche zur Schmelz-Dentin-Grenze abnimmt.

Im Gegensatz zu SCHUBERT vertritt BÜHLER die Ansicht, daß retinierte Zähne eine etwa gleiche Härte zeigen, wie Zähne in der Mundhöhle.

BALLE (2) untersuchte den Schmelz gesunder und kariöser Milchzähne auf ihre Härte und kam ebenfalls zu dem Schluß, daß die Schmelzhärte zur Schmelz-Dentin-Grenze auch beim Milchzahn abnimmt. Weisheitszähne können jedoch dabei nicht zum Vergleich hinzugezogen werden.

Innerhalb der normalen Schwankungen kommt KRELL (9) zu dem Ergebnis, daß der Schmelz in seiner ganzen Ausdehnung innerhalb des Kronenbereichs eine gleichmäßige Härte besitzt. Er sagt unter anderem wörtlich: "Aus den gefundenen Werten läßt sich die Schlußfolgerung ziehen, daß die Härte dieses frisch extrahierten Zahnes identisch ist mit den von uns in den vorangegangenen Versuchsreihen bei in Formalinlösung gelegnem Zahnmaterial". In seiner Versuchsanordnung wurden die Zähne über kurz oder lang verarbeitet, er gab keine genauen Zeiträume an.

Als nächstes möchte ich MÜHLEMANN (12) anführen, der nach zweitägiger Aufbewahrung von Zähnen in physiologischer NaCl-Lösung eine Härteuntersuchung durchführte und dabei eine Härteabnahme, bei Aufbewahrung im trockenen Medium eine Härtezunahme feststellte. Der erweichende Einfluß von destilliertem Wasser war viel geringer, als derjenige der physiologischen NaCl-Lösung. Der Ablauf der Experimente bei MÜHLEMANN (12) war allerdings ein anderer, als in der vorliegenden Arbeit. Er bewahrte jeweils einen Zahn zwei Tage zuerst feucht auf, führte dann die Vergleichsmessungen durch,

anschließend verblieb der Zahn wiederum zwei Tage in physiologischer NaCl-Lösung. An diese zweite Mediumsänderung schlossen sich Härtemessungen an, denen eine weitere zweitägige Aufbewahrung im trockenen Medium folgte, im Anschluß an die Vergleichsmessungen bewahrte er den Zahn nochmals zwei Tage feucht auf. Den zum Vergleich herangezogenen Zahn gab er zuerst in physiologische NaCl-Lösung, dann ins trockene Medium, später ins feuchte und zum Schluß wiederum in physiologische NaCl-Lösung. Seine Messungen berechnete er nicht nach Vickers sondern mit KHN.

Als letzte Autorin möchte ich in der Literaturübersicht GROSSE-PERDEKAMP (7) anführen. Sie zweifelt in ihrer Dissertation die Genauigkeit des Ritzhärteverfahrens sowohl beim Zahn als auch am Knochen an. Die unbefriedigenden Ergebnisse führt sie auf die uneinheitliche Struktur der Untersuchungsmaterialien zurück.

Vor die anschließend aufgeführten verschiedenen Meßverfahren möchte ich die Beschreibung des "DURIMET" stellen, des Gerätes, mit dem in der hier vorliegenden Arbeit die Messungen durchgeführt wurden.

Beschreibung des DURIMET

1. Feinmeßokular
2. Klemmschraube des Feinmeßokulars; nach Lösen dieser Klemmschraube kann das Okular um seine Achse gedreht werden
3. Einstellschraube für die Teilung des Feinmeßokulars
4. Einstellkopf zur Querverschiebung des Okulars
5. Einstellknopf zur Längsverschiebung des Okulars
6. Eingebaute Beleuchtung mit Niedervoltglühlampe 8V 0,6A, abnehmbar
7. Index für Normalstellung des DURIMET
8. Triebknopf (Grobeinstellung) zur Höhenverstellung des DURIMET (Verstellbereich 40 mm)
9. Feineinstellung des DURIMET (Verstellbereich 14 mm)
10. Orientierungsteilung mit Noniusablesung für die Höheneinstellung des DURIMET
11. Klemmhebel zur Arretierung des DURIMET-Oberteiles an der Säule
12. Rändelmutter zur Höhenverstellung des DURIMET-Oberteiles an der Säule (Verstellbereich 150 mm)
13. Säule
14. Rändelknopf mit biegsamer Welle zum Anheben des Eindringkörpers
15. Griffe zum Einschwenken von Objektiv oder Prüfdiamant
16. Rastfeder für das Wechseln von Übersichts- und Einstellobjektiv sowie des Diamanten
17. Prüfgewicht

18. Auflageteller für das Prüfgewicht
19. Meßobjektiv (für Vergrößerung 400x, Sehfeld-
durchmesser 0,45 mm)
20. Prüfdiamant
21. Suchobjektiv (für Vergrößerung 100x, Sehfeld-
durchmesser 1,8 mm)
22. Drahtauslöser
23. Auflagefläche für den Meßtisch
24. Feinmeßspindeln (Meßbereich 25 mm)
25. Meßtisch
26. Rändelschraube zum Einstellen der Absenk-
geschwindigkeit des Diamanten
27. Deckel der Ölbremse mit Ölloch
28. Kolbenstange

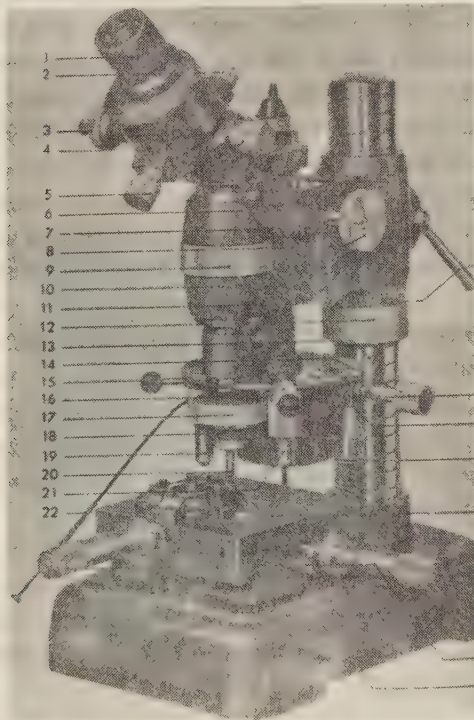


Abb. 1 DURIMET

3. Meßverfahren

Um nun mit Hilfe der Versuche zu einem gut auswertbaren und exakten Ergebnis zu gelangen, mußte ein möglichst genaues und auch auf längere Zeit gleichmäßiges Meßverfahren angewandt werden. Zur Härtebestimmung an Zähnen, sowohl am Schmelz, als auch am Dentin wurden schon die verschiedensten Methoden herangezogen, so unter anderem die Ritzmethode von MOHS, die im Grunde mit den gleichen Mitteln arbeitet, wie die Diamantpyramideneindruckmethode nach VICKERS, jedoch den Nachteil hat, daß das zu messende Objekt gleichmäßig bewegt werden muß. Der dabei entstehende Ritz muß genau ausgemessen werden, das kann jedoch nur bei einem gleichmäßigen Ritz exakt erfolgen. Dabei erweist sich als weiterer Nachteil die unterschiedliche Materialbeschaffenheit von Zähnen. Durch diese bedingt, muß die Breite des Ritzes stark schwanken, denn der Eindruck wird jeweils tiefer oder flacher, je nachdem ob die Diamantnadel auf ein Schmelzprismum oder auf Zwischensubstanz trifft. Die Schwankungen werden wahrscheinlich auch in den Ergebnissen auftreten. Ein anderes Meßverfahren ist die Kugeleindruckmethode nach BRINELL. Sie liefert sehr gute Meßwerte, ist aber in der Ausmessung der Kreisdurchmesser und damit der Bestimmung der Eindrucktiefe schwieriger. Daneben gibt es auch andere Meßverfahren, die in situ durchgeführt werden, so z.B. die Methode nach BOEDECKER, die jedoch nur auf der Oberfläche des Zahnes erfolgen kann. Die Meßwerte ergeben sich dadurch, daß sich beim Ritzen eine Schwingung bildet, die bei verschiedener Härte des Objektes eine unterschiedliche Frequenz aufweist.

Keine von diesen aber übertrifft an Genauigkeit die Messung nach VICKERS. Das für dieses Verfahren von der Firma Leitz/Wetzlar entwickelte Gerät, der Kleinhärteprüfer "DURIMET",

gibt die genauesten Ergebnisse, denn die Eindrücke können sehr exakt gemessen werden. Der Abstand der einzelnen Meßpunkte kann außerdem mikroskopisch festgelegt werden.

Das Gerät selbst verfügt über zwei Objektive : ein Suchobjektiv mit einer 100fachen Vergrößerung und ein Meßobjektiv, das eine 400fache Vergrößerung aufweist. Mit Hilfe des Suchobjektives wird die Lage des Meßobjektives bestimmt, durch das Meßobjektiv die genaue Stelle des Pyramideneindrucks, der durch die Diamantpyramide erzeugt wird, wenn diese durch Öl gedämpft auf das Versuchsobjektiv herabgelassen wird. Die Prüfungsgewichte zur Belastung der Diamantpyramide kann man zwischen 15 und 500 g variieren. Der dadurch entstehende Eindruck hat bei richtiger Einstellung des Gerätes die Form einer Raute (Bild 2).

Zur eigentlichen Ausmessung der Eindrücke wird dann das Meßokular verwendet, das über eine Meßskala mit Intervallen von $0,5\mu$ verfügt.

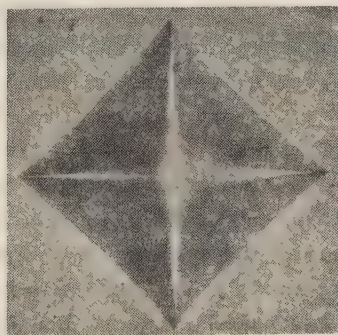


Abb. 2



Abb. 3

Bei den durchzuführenden Messungen können dann noch Verschiebungen von 0,1 μ geschätzt werden (Bild 3).

Die durch diese Meßskala gewonnenen Ergebnisse sind sehr exakt, denn man kann die einzelnen Endpunkte der Diagonalen der Pyramideneindrücke genau anpeilen. Die Genauigkeit wird außerdem noch dadurch gesteigert, daß das Versuchsobjekt, das sich auf einem beweglichen Tisch befindet, mit Hilfe von Feinmeßspindeln verschoben werden kann.

Durch die Verwendung der Formel $HV = \frac{1854 p}{d^2}$ läßt sich dann aufgrund der Längen der Eindruckdiagonalen und damit der Eindrucktiefen die Vickershärte in Einheiten errechnen. Das Gerät läßt sich ebenfalls zur Messung und Berechnung der Knoop-Härte-Zahlen verwenden, nur ist das Meßverfahren, es wird nur die längere Diagonale gemessen, und die Formel zur Errechnung der Härtezahl $KHN = \frac{14230 p}{l^2}$ eine andere.

4. Versuchsanordnung

Wie schon eingangs erwähnt, wurden bei den Versuchen zum größten Teil verlagerte Weisheitszähne verwendet, denn diese sind naturgemäß am besten erhalten. Es liegt auf der Hand, daß Unterschiede bei Messungen an gesundem oder erkranktem Zahnhartgewebe auftreten. Somit wurde bei der Verwendung ausschließlich normalen Zahnhartgewebes eine Fehlerquelle vermieden. Bevor nun mit den einzelnen Versuchen begonnen werden konnte, mußten die Zähne auf verschiedene Weise vorbehandelt werden. Direkt nach der Extraktion wurden die Zähne gesäubert und in aqua dest. bis zur Weiterbehandlung aufbewahrt. Als nächstes wurden die Molaren in der Mitte durchtrennt und zwar in Richtung der Querrissur und senkrecht zur Zahnkrone. Anschließend wurden sie in selbsthärtenden Kunststoff (Paladur der Firma Kulzer) so eingebettet, daß die Durchtrennungsfläche an der Oberfläche des Kunststoffes lag. Nach Aushärten des Kunststoffes wurden die Schnittflächen der Zähne auf Hochglanz poliert. Hierauf erfolgte die erste Messung, die innerhalb von 48 Stunden nach der Extraktion der Zähne durchgeführt wurde. Anschließend an diese erste Messung wurden die Zähne ein zweites mal durchtrennt und zwar diesmal senkrecht zur ersten Schnittfläche in der Mitte des Zahnes. Die Aufbewahrung in den speziellen Medien :

Physiologische Kochsalzlösung

10%ige Formalinlösung

Feuchte Kammer

Trocken

betrug jeweils 21 Tage. Nach dieser Aufbewahrungszeit konnten die vergleichenden Messungen erfolgen.

Bei der ersten Messung wurden insgesamt auf einer Zahnhälfte 12 Härtemessungen durchgeführt. Die Lage der Meßpunkte kann aus der Zeichnung ersehen werden. Wie bereits schon anfangs beschrieben, liegen die Meßpunkte 1 - 3 von der Zahnoberfläche jeweils 100 und voneinander 500 μ entfernt. Die drei inneren Meßpunkte liegen 100 μ von der Schmelz-Dentin-Grenze entfernt und voneinander ebenfalls 500 μ . Die durch die nochmalige Durchtrennung entstandenen Zahnviertel wurden in den hierfür vorgesehenen und oben erwähnten Medien aufbewahrt. Da zu jedem Versuch drei Zähne verwendet wurden, aber vergleichende Messungen durchgeführt werden sollten, wurden insgesamt 18 Zähne benötigt.

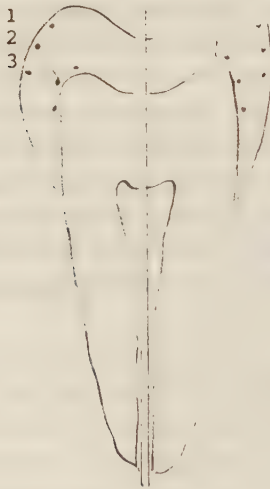


Abb. 4

Nach 21 Tagen wurde die zweite Messung durchgeführt. Die zweiten Meßpunkte liegen, wie aus der Skizze ersichtlich, ebenfalls 100_u von der Schmelzoberfläche, der Schmelz-Dentin-Grenze und von den ersten Meßpunkten entfernt.

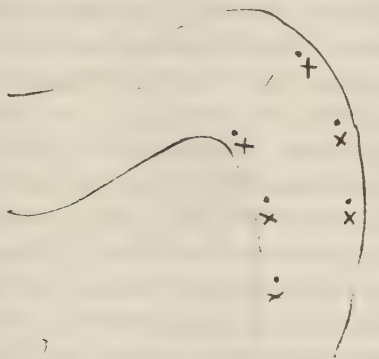


Abb. 5

Die bei den Messungen erlangten Werte mußten nun von den Längenmaßen auf Gewichtswerte umgerechnet werden, um einen Härtevergleich durchführen zu können. Die Härte wird als der Widerstand, den ein Körper dem Eindringen eines anderen entgegensetzt, also die Kraft, mit der die einzelnen Teilchen eines Gegenstandes aneinander haften, definiert.

Bei der Umrechnung wurde die Formel für die Vickers-Härte $HV = \frac{1854 p}{d^2} = \frac{kp}{d^2}$ verwendet. Dabei bedeuten p = Prüfkraft in p und d den ^{mm} Mittelwert der Pyramideneindruckdiagona-
len. Bei den hier durchgeführten Messungen wurden in allen Fällen eine Prüfkraft von 100 p verwendet.

5. Ergebnisse und Tabellen

Nach der Umrechnung der Meßwerte auf Vickers-Härte HV resultierten aus den Versuchen folgende Ergebnisse, die in der Tabelle I zusammengefaßt sind. Um das Gesamtbild übersichtlicher zu gestalten, wurden aus dieser Aufstellung der Meßergebnisse die Mittelwerte für die einzelnen Versuche ausgerechnet. Dazu wurde die Standardabweichung angegeben. (Tabelle II). Außerdem wurden die graphischen Darstellungen 1-4 angefertigt. Daneben zeigt die Tabelle II die Anzahl und die Verteilung der einzelnen Meßpunkte, die eine gleichbleibende, höhere oder niedrigere Härte bei der zweiten Messung aufweisen. Aus diesen Ergebnissen zeigt sich, daß die Härte der Zähne bei Aufbewahrung in einem gewissen Medium sich ändert. Die Art der Änderung hängt vom Medium ab. So wurde bei Aufbewahrung in 10%iger Formalinlösung eine Härteabnahme in beiden Schichten, sowohl der äußeren wie auch der inneren, bei Aufbewahrung in physiologischer NaCl-Lösung in den äußeren Schichten eine Härteabnahme, in den inneren Schichten eine Härtezunahme beobachtet. Bei trockener Aufbewahrung war eine Härtezunahme in beiden Schichten und bei der Aufbewahrung in der feuchten Kammer eine gleichbleibende Härte zu beobachten.

Neben dem Ergebnis der Veränderung der Zahnhärte bei der Aufbewahrung in unterschiedlichen Medien, trat als Nebenfund auf, daß die äußeren Schmelzschichten eine höhere Härte aufweisen, als die inneren. Das spricht auch für die von vielen Autoren in Arbeiten erwähnte Härteabnahme in Richtung Schmelz-Dentin-Grenze. Ganz sicher ist die Verkalkung des Zahnes an der Schmelzoberfläche höher, als im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze. Die Härte der untersuchten Zähne selbst war sehr unterschiedlich, das muß ich jedoch auf die unterschiedliche Verkalkung der Weisheitszähne zurückführen. Im Gegensatz dazu zeigt das Verhalten der Zähne bei der verschiedenartigen Aufbewahrung allerdings ein relativ gleiches Verhalten dem Medium gegenüber.

Tabelle I

<u>Zahn I</u>	<u>1. Messung</u>		<u>nach 21 Tagen</u>	<u>2. Messung</u>
	<u>links</u>	<u>rechts</u>	<u>10%Form.</u>	<u>phys.NaCl</u>
<u>außen</u>	463,6	410,5	350,7	335,65
	463,6	430,6	356,2	366,2
	420,4	374,5	315,3	302,35
<u>innen</u>	249,65	269,1	228,25	285,2
	269,1	321,9	249,65	350,7
	279,6	290,75	254,3	328,6
<u>Zahn II</u>			<u>10%Form.</u>	<u>phys.NaCl</u>
	356,2	344,0	302,35	274,2
	410,5	366,2	328,6	296,7
	356,2	344,0	302,35	296,7
	274,2	290,75	240,7	315,3
	302,35	296,7	249,65	315,3
	269,1	302,35	254,3	321,9
<u>Zahn III</u>			<u>10%Form.</u>	<u>phys.NaCl</u>
	366,2	335,65	308,8	315,3
	321,9	335,65	296,7	308,8
	315,3	344,0	296,7	321,9
	296,7	296,7	259,1	328,6
	344,0	290,75	274,2	315,3
	296,7	285,2	254,3	308,8
<u>Zahn IV</u>			<u>phys.NaCl</u>	<u>trocken</u>
	366,2	410,5	366,2	430,6
	296,7	391,8	296,7	420,4
	296,7	296,7	290,75	356,2
	264,5	296,7	296,7	350,7
	240,7	296,7	296,7	344,0
	228,25	296,7	296,7	350,7
<u>Zahn V</u>			<u>phys.NaCl</u>	<u>trocken</u>
	356,2	308,8	296,7	401,1
	401,1	308,8	315,3	420,4
	401,1	356,2	344,0	401,1
	196,07	264,05	274,2	308,8
	192,9	249,65	296,7	296,7
	217,98	296,7	290,75	321,9

Forts. Tabelle I

<u>Zahn VI</u>	<u>1. Messung</u>	<u>nach 21 Tagen</u>	<u>2. Messung</u>
	<u>links</u>	<u>rechts</u>	<u>phys.NaCl</u>
<u>außen</u>	356,2	420,4	296,7
	374,5	430,6	302,35
	374,5	383,1	296,7
<u>innen</u>	296,7	181,05	302,35
	285,2	181,05	296,7
	285,2	206,6	296,7
<u>Zahn VII</u>		<u>10%Form.</u>	<u>trocken</u>
	366,2	328,6	430,6
	366,2	350,7	430,6
	401,1	350,7	401,1
	296,7	285,2	350,7
	296,7	285,2	356,2
	285,2	264,05	344,0
<u>Zahn VIII</u>		<u>10%Form.</u>	<u>trocken</u>
	383,1	315,3	356,2
	350,7	296,7	335,65
	328,6	302,35	350,7
	274,2	228,25	290,65
	264,05	236,45	344,0
	274,2	236,45	366,2
<u>Zahn IX</u>		<u>10%Form.</u>	<u>trocken</u>
	321,9	296,7	420,4
	356,2	302,35	410,1
	401,1	315,3	383,1
	274,2	236,45	296,7
	254,3	245,2	328,6
	249,65	225,6	383,1
<u>Zahn X</u>		<u>phys.NaCl</u>	<u>feuchte Kammer 37°</u>
	401,1	296,7	335,65
	356,2	296,7	366,2
	410,5	335,65	366,2
	269,1	285,2	308,8
	259,1	296,7	328,6
	274,2	296,7	302,35

Forts. Tabelle I

<u>Zahn XI</u>	<u>1. Messung</u>		<u>nach 21 Tagen</u>	<u>2. Messung</u>
	<u>links</u>	<u>rechts</u>	<u>phys.NaCl</u>	<u>feuchte Kammer</u>
<u>außen</u>	410,5	356,2	302,35	356,2
	401,1	315,3	296,7	321,9
	383,1	321,9	302,35	315,2
<u>innen</u>	264,05	296,7	285,2	296,7
	274,2	290,75	279,6	290,75
	290,75	296,7	302,35	290,75
<u>Zahn XII</u>			<u>phys.NaCl</u>	<u>feuchte Kammer</u>
	321,9	374,5	285,2	383,1
	374,5	391,8	308,8	383,1
	366,2	374,5	302,35	315,3
	254,3	296,7	279,6	296,7
	249,65	285,2	285,2	290,75
	264,05	296,7	290,75	296,7
<u>Zahn XIII</u>			<u>10%Form.</u>	<u>feuchte Kammer</u>
	401,1	383,1	308,8	383,1
	366,2	391,8	302,35	391,8
	420,4	420,4	296,7	420,4
	315,3	296,7	259,1	302,35
	315,3	308,8	254,3	302,35
	321,9	296,7	259,1	296,7
<u>Zahn XIV</u>			<u>10%Form.</u>	<u>feuchte Kammer</u>
	430,6	441,1	315,3	441,1
	410,5	401,1	302,35	391,8
	410,5	383,1	296,7	391,8
	296,7	321,9	254,3	315,3
	296,7	296,7	259,1	302,35
	296,7	296,7	259,1	296,7
<u>Zahn XV</u>			<u>10%Form.</u>	<u>feuchte Kammer</u>
	391,8	383,1	302,35	391,8
	374,5	410,5	296,7	401,1
	401,1	410,5	296,7	401,1
	296,7	302,35	259,1	302,35
	296,7	296,7	264,05	296,7
	296,7	296,7	254,3	296,7

Forts. Tabelle I

<u>Zahn XVI</u>		<u>1. Messung</u>	<u>nach 21 Tagen</u>	<u>2. Messung</u>
	<u>links</u>	<u>rechts</u>	<u>trocken</u>	<u>feuchte Kammer</u>
<u>außen</u>	366,2	410,5	430,6	401,1
	366,2	383,1	430,6	391,8
	366,2	383,1	410,5	383,1
<u>innen</u>	302,35	296,7	344,0	296,7
	296,7	296,7	356,2	296,7
	296,7	296,7	335,65	296,7
<u>Zahn XVII</u>			<u>trocken</u>	<u>feuchte Kammer</u>
	374,5	374,5	420,4	383,1
	356,2	391,8	383,1	391,8
	383,1	401,1	430,6	391,8
	296,7	302,35	328,6	302,35
	302,35	296,7	366,2	296,7
	296,7	302,35	335,65	302,35
<u>Zahn XVIII</u>			<u>trocken</u>	<u>feuchte Kammer</u>
	430,6	383,1	441,1	391,8
	350,7	391,8	430,6	391,8
	344,0	356,2	410,5	350,7
	296,7	296,7	321,9	308,8
	296,7	296,7	328,6	296,7
	296,7	296,7	328,6	290,75

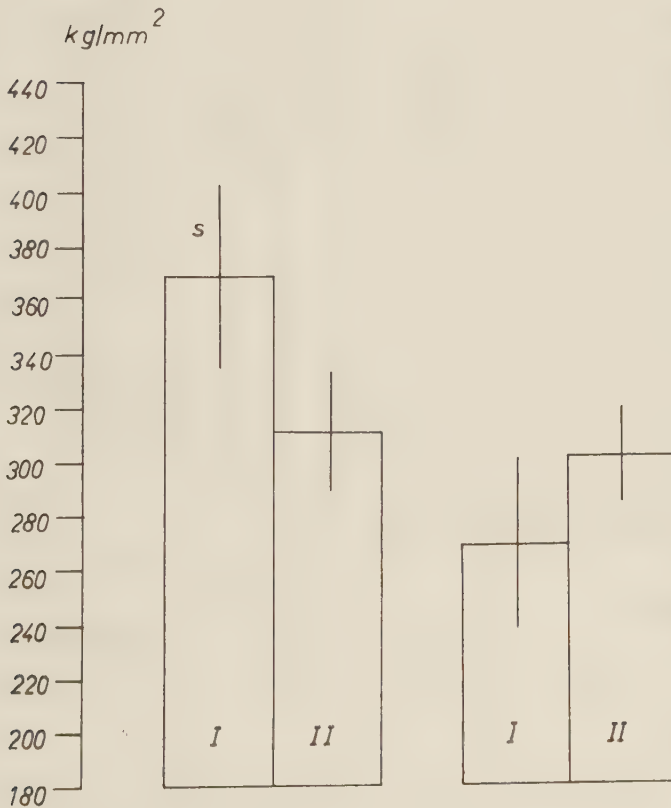
Abb. 6 - 9

In diesen Abbildungen bedeuten die linken doppelten Rechtecke die Mittelwerte der äußeren Meßpunkte und die rechten die Mittelwerte der Punkte an der Schmelz-Dentin-Grenze.

I Erstmessung innerhalb von 48 Stunden nach der Extraktion

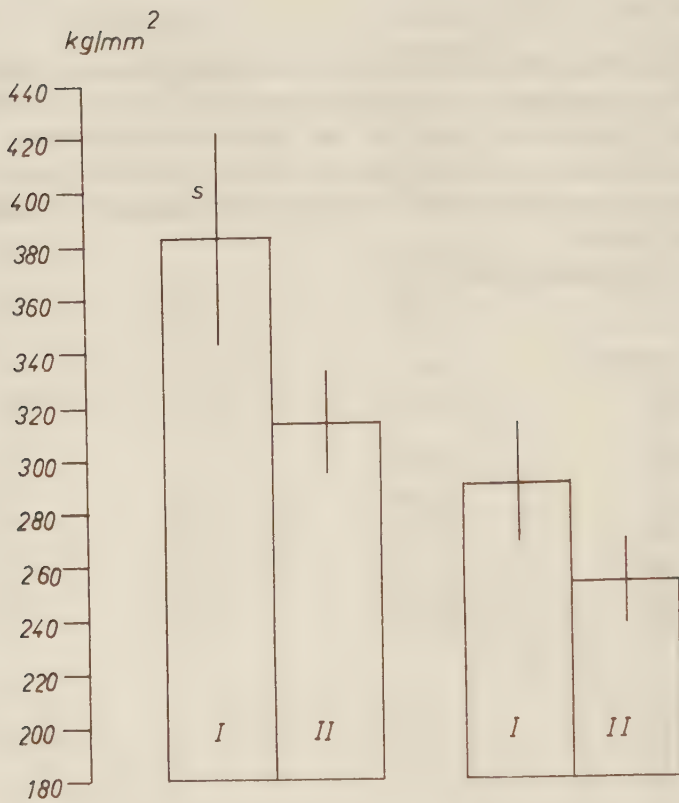
II Vergleichsmessung nach 3 Wochen Aufbewahrung im jeweiligen Medium

s Standardabweichung



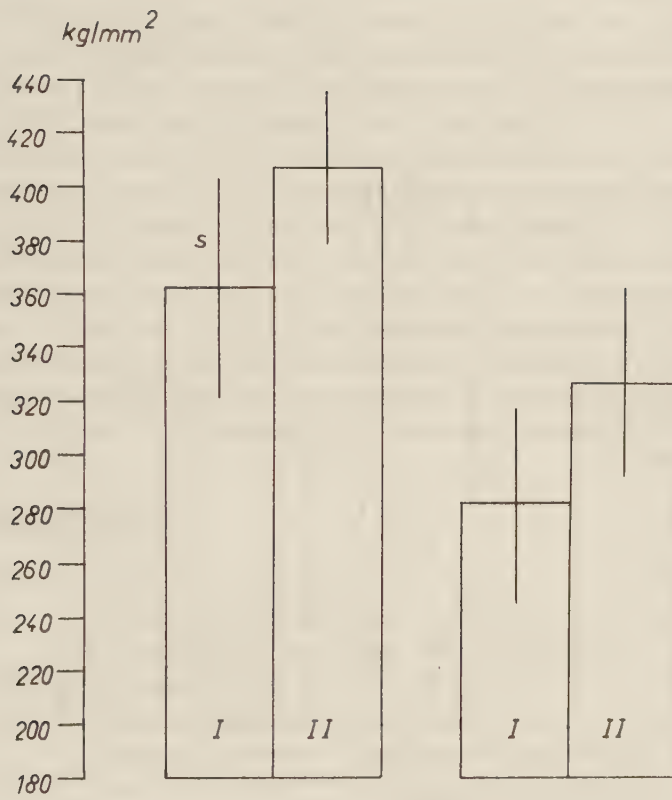
Medium : phys. NaCl-Lösung

Abb. 6



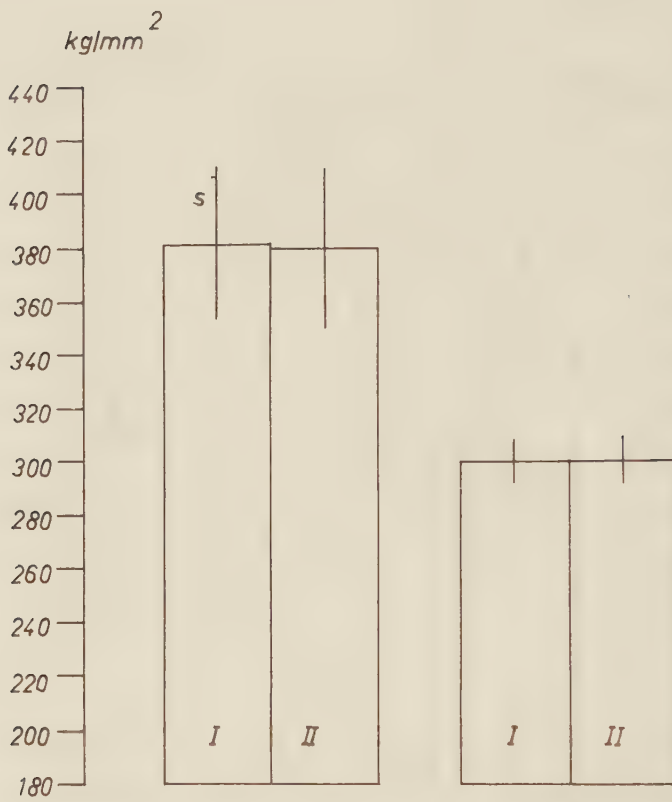
Medium : Formalin 10%ig

Abb. 7



Medium: trocken

Abb. 8



Medium: feuchte Kammer

Abb. 9

Tabelle II

In der nachfolgenden Tabelle werden die erzielten Ergebnisse der Härtemessungen zusammengefaßt, und zwar wird von jeweils drei Messungen an neun Zähnen, also von 27 Meßergebnissen der Mittelwert gebildet. Dazu wird die Standardabweichung angegeben. Die zusammengefaßten Werte entsprechen den drei Meßergebnissen in der äußeren und der inneren Schmelzschicht bei der ersten Messung und der Vergleichsmessung nach Aufbewahrung im jeweiligen Medium. Anschließend wird die Differenz der Erst- und Vergleichsmessung gebildet, die die aufgetretenen Härteänderungen veranschaulicht. In den darauffolgenden Spalten der Tabelle wird die Anzahl der verschiedenen eingetretenen Härteänderungen nach Härtezunahme und -abnahme angegeben.

Zeichenerklärung

M	= Medium
FN	= Anzahl der Meßpunkte, Fallzahl
$\bar{x}_1$	= Durchschnittswert der Meßwerte bei der Erstmessung
s	= Standardabweichung
$\bar{x}_2$	= Durchschnittswert der Vergleichsmessung nach 21 Tagen
Diff.	= Differenz der Werte der Erst- und Vergleichs- messung
Zu N	= Zunahme der Härte-Fallzahl
Ab N	= Abnahme der Härte-Fallzahl
Gl N	= Gleichbleibende Härte-Fallzahl

M		FN	$\bar{x}_1$	s	$\bar{x}_2$	s	Diff	ZuN	AbN	GIN
NaCl	ausser	27	367,90	34,3387	309,25	22,4695	-58,65	-	25	2
	innen	27	268,54	31,5483	300,69	17,6473	+32,15	27	-	-
Formalin	ausser	27	383,54	39,7653	312,38	19,1981	-71,16	-	27	-
	innen	27	288,27	22,3111	252,95	15,2326	-35,32	-	27	-
trocken	ausser	27	361,54	41,3344	407,36	28,9935	+45,82	26	1	-
	innen	27	281,38	36,1908	327,15	35,0352	+45,77	26	1	-
feuchte Kammer	ausser	27	381,56	28,2356	379,03	30,0711	-2,53	7	9	11
	innen	27	299,89	8,2802	300,05	8,1298	+0,16	5	5	17

6. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurden insgesamt 18 intakte Zähne auf ihre Schmelzhärte untersucht, unabhängig von Alter und Geschlecht. Zudem wurde nicht berücksichtigt, daß es sich meist um retinierte Zähne handelte. Einzige Bedingung war : gesunde und kariesfreie Molaren, denn die Härtemessung des Schmelzes sollte immer an den gleichen Punkten erfolgen. Die Messungen, die mit dem "DURIMET" durchgeführt wurden, lieferten sehr gute und gut auswertbare Ergebnisse. Dies bestätigten auch die meisten der von mir im Literaturvergleich herangezogenen Autoren. Wie noch in der Zusammenfassung geschildert wird, zeigte sich bei der Aufbewahrung der Zahnschliffe in physiologischer Kochsalzlösung eine Härteabnahme in den äußeren Schmelzschichten, eine Härtezunahme aber in den inneren in der Nähe der Schmelz-Dentin-Grenze. Ersteres bestätigt auch MÜHLEMANN (12) in seiner Arbeit über Härtemessungen am gesunden Schmelz menschlicher Zähne. Zudem stellt er ebenfalls in Übereinstimmung mit meinen Ergebnissen eine Härtezunahme im trockenen Medium fest. Bei den Zähnen, die in Formalinlösung lagen, zeigt sich einheitlich in den äußeren und inneren Schmelzschichten eine Härteabnahme. Dieses Ergebnis steht im Gegensatz zu der Ansicht von KRELL (9), der meint, daß keine Veränderung der Zahnhartsubstanz in Formalinlösung auftritt. Er vertritt auch die Meinung, daß der gesamte Schmelz im Kronenbereich eine gleichmäßige Härte besitzt, während die vorliegenden Untersuchungen deutlich zeigen, daß der Schmelz an der Schmelz-Dentin-Grenze am weichsten, an den äußeren Schmelzpunkten jedoch am härtesten war. Die Erklärung für diese Unterschiede im Ergebnis mag in der Versuchsanordnung liegen, die Zähne wurden bei KRELL (9) "über kurz oder lang verarbeitet", den aufgrund meiner Untersuchungen war die größte Härteabnahme bei den in Formalinlösung gelegenen Zähnen zu verzeichnen.

Als einzige Zähne zeigten die in der feuchten Kammer aufbewahren keine Härteänderung. Die dabei geringfügigen Schwankungen führe ich lediglich auf die unterschiedliche Verkalkung der Zähne und auch die sicher, jedoch in sehr geringem Maße auftretenden Meßungenauigkeiten zurück. Diese Versuchsergebnisse in der feuchten Kammer sprechen meiner Meinung nach für die Ansicht mancher Autoren, daß der Schmelz der Zähne nach dem Durchbruch in die Mundhöhle keine Härteänderung durch den Speichel erfährt. Dies würde erklären, warum einige Autoren, besonders die aus dem amerikanischen Sprachgebiet, die sog. Schmelzreife ablehnen, denn sie vertreten die Meinung, daß die Härte der Zähne gleichbleibend ist, keine Nachhärtung erfolgt und daß die Zähne keine Altersabhängigkeit zeigen. Im Gegensatz dazu steht PROELL-SCHUBERT mit ihrer Ansicht, die eine Härtezunahme mit steigendem Alter befürwortet. Meiner Meinung nach kann einzig durch eine stärkere Verkalkung des Zahnes in höherem Alter eine Härteänderung auftreten, jedoch nicht durch ein feuchtes Medium wie in diesem Falle die feuchte Kammer oder der Speichel in der Mundhöhle.

Zu den gleichen Ergebnissen wie ich in meinen Versuchen gelangte HERRMANN (8) bei seinen Versuchen zur Härtebestimmung. Er stellte in seiner Arbeit die unterschiedliche Härte des Schmelzes an der Oberfläche, an der Schmelz-Dentin-Grenze und zum cervicalen Rand hin heraus. Auch BALLE (2) und SCHUBERT (17) bestätigen in ihren Dissertationen die Änderung der Härte zur Schmelz-Dentin-Grenze hin. BÜHLER (4) spricht sogar von einer kontinuierlichen Härteabnahme. Etwas anderer Ansicht ist SCHIRBORT (15), der eine Härteänderung hauptsächlich nur in den inneren Schmelzschichten befürwortet. Einzig CRAIG und PEYTON (6) waren anderer Ansicht; sie lehnen eine Härteänderung von der Schmelzoberfläche zur Schmelz-Dentin-Grenze hin ab. Die Erklärung für diese Unterschiede können in der Art der Versuchsdurchführung und Auswertung liegen,

denn die meisten der angeführten Autoren arbeiten mit dem "DURIMET" und der Härtemessung nach Vickers, die Methoden von CRAIG und PEYTON (6) jedoch sind nicht bekannt, lediglich die Ausrechnung, sie erfolgte mit der Knoop-Hardness-Number.

Die anderen zum Vergleich herangezogenen Autoren, die bereits in der Literaturübersicht erwähnt wurden, befaßten sich weniger mit der Härteänderung des Schmelzes, als in der Hauptsache mit der Härte der Zähne. Die Teilergebnisse, die zum Vergleich vorlagen, zeigten Übereinstimmung mit den von mir erlangten Versuchsergebnissen. Leichte Unterschiede sind lediglich bei der Aufbewahrung der Zähne in NaCl-Lösung aufgetreten, insbesondere betreffs der inneren Schmelzschichten, denn in diesem Medium stellte ich im Gegensatz zu MÜHLEMANN (12) eine Härtezunahme in der Nähe der Schmelz-Dentin-Grenze fest.

Am Rande möchte ich noch vermerken, daß die gegenteilige Ansicht zweier Autoren betreffs der Härte von Weisheitszähnen recht interessant ist. SCHUBERT (17) behauptet, daß der Schmelz von Weisheitszähnen und der retinierten Zähne im gesamten geringer sei, während BÜHLER (4) eher zu der Ansicht tendiert, daß retinierte Zähne die gleiche Härte zeigen, wie die im Munde stehenden. Meine Ergebnisse zeigen, daß die Weisheitszähne wohl durchschnittlich die gleiche Härte zeigen, wie andere Molaren, aber an sich untereinander durch die unterschiedliche Verkalkung eine sehr verschiedene Härte zeigen. Dies mag auch die starke Streuung bei meinen Messungen erklären.

Zusammenfassend möchte ich nun sagen, daß sich der größte Teil der Autoren der vorliegenden Arbeiten für eine Härteabnahme in Richtung Schmelz-Dentin-Grenze ausspricht. Selbige Ansichten

bestätigen auch die in meiner Arbeit gefundenen Ergebnisse. Lediglich zwei Autoren lehnen eine Härteänderung im Bereich der Zahnkrone ab, diese Meinungen kann ich jedoch aufgrund meiner Ergebnisse aus den Untersuchungen nicht teilen.

7. Zusammenfassung

Zu den Versuchen wurden insgesamt 9 gesunde Zähne, kariesfreie Molaren, verwendet. Die Zähne wurden halbiert, so daß 18 Hälften entstanden. Anschließend erfolgten Härtemessungen an genau lokalisierten, immer gleichbleibenden Stellen. Die erste Messung erfolgte innerhalb 48 Stunden nach der Extraktion des Zahnes, die zweite Messung wurde nach 21 Tagen vorgenommen. Alle Messungen wurden mit dem "DURIMET" durchgeführt und nach der Vickers-Härte berechnet.

An den Meßpunkten 100μ von der Schmelzoberfläche entfernt, ergab sich ein mittlerer Härtewert von $366,6 \text{ kg/mm}^2$. An den inneren Meßpunkten kam der durchschnittliche Wert auf $276,5 \text{ kg/mm}^2$. Die durch eine nochmalige Durchtrennung der Zahnhälften gewonnenen Zahnviertel wurden drei Wochen im speziellen Medium aufbewahrt. Nach dieser Zeit wurden erneut Meßpunkte festgelegt, die etwa 100μ von den ersten entfernt lagen. Die Aufbewahrung der Zahnviertel in NaCl-Lösung, in 10%iger Formalinlösung, trocken und in der feuchten Kammer ergaben sehr unterschiedliche Ergebnisse (s. Tabelle I, II). Bei dem Versuch mit NaCl-Lösung zeigte sich, daß die Härte der untersuchten Zähne außen, d.h. in den äußeren Schmelzschichten um durchschnittlich $58,65 \text{ kg/mm}^2$ abnahm, in den inneren Schichten war jedoch eine Zunahme der Härte um $32,15 \text{ kg/mm}^2$ zu verzeichnen. Die Mittelwerte bei der Aufbewahrung in Formalin zeigten außen ($-71,16 \text{ kg/mm}^2$) und innen ($-35,32 \text{ kg/mm}^2$) eine Härteabnahme, während bei der trockenen Aufbewahrung die Härte der Zähne sowohl in den äußeren ($+45,82 \text{ kg/mm}^2$), als auch in den inneren ($+45,77 \text{ kg/mm}^2$) Schmelzschichten zunahm. Die Zähne in der feuchten Kammer zeigten durchschnittlich eine gleichbleibende Härte. Es erübrigte sich, eine statistische Auswertung durchzuführen, da alle Zähne innerhalb einer Versuchsgruppe Härteänderungen in einer Richtung (entweder Zu- oder Abnahme) aufweisen.

Die Versuchsergebnisse zeigen, daß die Härte der Zähne in Formalin geringer, in Trockenheit stärker, in physiologischer Kochsalzlösung unterschiedlich veränderlich war, lediglich die Zähne in der feuchten Kammer zeigten keine Härteänderung.

8. Literaturverzeichnis

1. Anleitung und Regeln für das Arbeiten mit dem Kleinhärteprüfer "DURIMET".
Firma Leitz/Wetzlar
2. BALLE, D. :
Mikrohärtemessungen im gesunden und kariösen Milchzahnschmelz.
Med.Diss. Tübingen 1963
3. BREMER, G. :
Orientierende Übersicht über den Begriff der Härte sowie über Härtebestimmungen und ihre Anwendung in der Zahnheilkunde.
Odont.T. 58, 539 (1950)
4. BÜHLER, Chr. :
Mikrohärtemessungen im Schmelz und Dentin retinierter menschlicher Zähne.
Med.Diss. Tübingen 1964
5. CALDWELL, R.C., M.L. MUNTZ, R.W. GILMORE und P. PGIMAN :
J.Dent.Res. 36, 732 (1957)
6. CRAIG, R.G. und F.A. PEYTON :
The microhardness of enamel and dentine.
J.Dent.Res. 37, 661 (1958)
7. GROSSE-PERDEKAMP, M. :
Härtebestimmungen gesunder Hartsubstanzen mit dem Kleinhärteprüfer "DURIMET".
Med.Diss. Münster 1960
8. HERRMANN, M. :
Härtemessungen am normalen und erkrankten Zahnhartgewebe (Rattenzähne).
Arch.Oral.Biol. 4, 76 (1961)
9. KRELL, F. :
Härteprüfungen an Schmelz und am Dentin von Goldhamster- und menschlichen Zähnen.
Med.Diss. Berlin 1953
10. MASI, P.L. und A. BENINI :
Ricerca sulla microdurezza del dente umano sano.
Riv.ital.stomat. 18, 99 (1963)

11. MASI, P.L. und A. BENINI :
Proprietà meccaniche dei tessuti duri del
dente umano in particolari stati fisiologici
ed in alcune situazioni patologiche locali
e generali.
Riv.ital.stomat. 19, 1500 (1964)
12. MÜHLEMANN, H.R. :
Storage medium and enamel hardness.
Helv.Odont.Acta 8, 112 (1964)
13. NEWBRUN, E., Ph. TIMBERLAKE und W. PGMAN :
Changes in microhardness of enamel following
treatment with lactate buffer.
J.Dent.Res. 38, 293 (1959)
14. RYGE, G., D.A. FOLEY und C.W. FAIRHURST :
Micro-indentation hardness.
J.Dent.Res. 40, 1116 (1961)
15. SCHIRBORT, K. :
Untersuchungen über die Nachhärtung des mensch-
lichen Zahnschmelzes.
Med.Diss.Berlin 1963
16. SCHRAMM, E. :
Härtemessungen am Zahnschmelz.
Zahnärztl.Praxis, München 9, 122 (1958)
17. SCHUBERT, M. :
Mikrohärtemessungen am menschlichen Zahnschmelz.
Med.Diss. Münster 1959
18. TYLDESLEY, W.R. :
The mechanical properties of human enamel and
dentine.
Brit.Dent.J. 106, 269 (1959)
19. WALLAU-GILOI, S. :
Vergleichende Untersuchungen über die Härte des
Schmelzes an menschlichen Zähnen.
Med.Diss.Mainz 1962

Lebenslauf

Ich, Klaus-Jürgen Kurtenacker, geb. am 3.8.1944 in Wernigerode/Harz, als Sohn des Chemikers Dr. H. Kurtenacker, lebte bis 1948 in Wernigerode und übersiedelte dann mit meinen Eltern nach Magdeburg. Dort besuchte ich vom Herbst 1950 an die Grundschule.

Im Sommer 1953 übersiedelte ich mit meinen Eltern nach Wiesbaden, wo ich 1954 die Grundschule beendete und mit dem Besuch des Gymnasiums begann. Im Frühjahr 1963 schloß ich mit der Reifeprüfung ab.

Meine Ausbildung setzte ich zu Beginn des Sommersemesters 1963 mit dem Studium der Zahnheilkunde an der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz fort, an der ich 1966 die zahnärztliche Vorprüfung ablegte. Daran schloß sich das Studium der klinischen Semester ebenfalls in Mainz an. Zu Beginn des Jahres 1969 endete meine Ausbildung mit dem Staatsexamen.

